

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE FÍSICA "GLEB WATAGHIN"

Este exemplar corresponde à redação final  
da Tese defendida pelo aluno - e  
aprovado pela Comissão Julgadora.

4 de setembro de 1984.

*Harvey R. Brown*

"PROBLEMAS COM REALISMO EM MECÂNICA QUÂNTICA

- Uma Análise de Resultados Recentes - "

Silvio Seno Chibeni

Orientador: Prof. Dr. Harvey Robert Brown

Tese apresentada ao Instituto de  
Física "Gleb Wataghin" da Universidade  
Estadual de Campinas, como  
requisito parcial para a obtenção  
do grau de Mestre em Física.

CAMPINAS, 1984

Aos meus pais  
e à Silvia

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. H. R. Brown, pela inestimável assistência, pelo encorajamento constante, pela dedicação e eficiência com que me iniciou no campo de estudos desta Dissertação;

Aos meus pais, pelo apoio incondicional de todos os instantes;

Aos Professores Newton Bernardes, Roberto de A. Martins, Antônio F. S. Penna, Fernando Cerdeira e J. Busnardo Neto, pelo incentivo à realização deste curso de Mestrado;

Ao Prof. Vincent Buonomano, pela cessão de importante material bibliográfico;

Ao CNPq, pelo suporte financeiro concedido.

## ÍNDICE

SUMÁRIO

vi

RESUMÉ

viii

### CAPÍTULO I : INTERPRETAÇÕES DA MECÂNICA QUÂNTICA

1. Distinção Formalismo-Interpretação	1
2. Realismo e Interpretação Estatística	3
3. Fenômenos de Interferência e Interpretação de Copenhagen	17

### CAPÍTULO II : RESULTADOS ALGÉBRICOS CONTRÁRIOS

#### AO REALISMO

1. Teorias de Variáveis Ocultas — Características Gerais	24
2. A Prova de von Neumann	25
3. Os Resultados de Gleason-Belinfante e de Bell	30
4. O Resultado de Kochen e Specker	38
5. Assunções Problemáticas dos Resultados Algébricos	41
6. Contextualismo	49

### CAPÍTULO III : CORRELAÇÕES QUÂNTICAS E

#### NÃO-LOCALIDADE

1. A Desigualdade de Bell	53
2. Outras Formas da Desigualdade de Bell	57
3. Resenha dos Experimentos	63
4. O "Realismo Real" de Arthur Fine	69
5. As Propostas de Stapp, Eberhard e Redhead	74

<b>CAPÍTULO IV : INTERLIGAÇÃO DAS ABORDAGENS</b>	
ALGÉBRICAS E DA NÃO-LOCALIDADE	80
1. AS Contribuições de Fine de 1982	80
2. A Nova Abordagem de Heywood e Redhead	86
3. Comentários Gerais e Conclusões	91
~	
<b>APÊNDICES</b>	
A. Núcleo da Prova Algébrica de Bell	99
B. Testes Experimentais das Teorias	
Realistas Locais	101
C. Glossário de Termos Matemáticos	108
D. Condições Físicas Sobre Teorias de	
Variáveis Ocultas (sumário)	116
NOTAS	119
REFERÊNCIAS	137

## SUMÁRIO

Uma série de resultados teóricos e experimentais recentes sobre as Teorias de Variáveis Ocultas reavivaram o interesse nos Fundamentos da Mecânica Quântica. Mostram, em seu conjunto, que qualquer atribuição completa de valores aos observáveis da Mecânica Quântica não poderá incorporar todas as premissas do realismo clássico de partículas. Na presente Dissertação empreende-se uma análise crítica e comparada desses resultados, após os contornos do programa realista em Mecânica Quântica terem sido definidos através de um exame dos argumentos tradicionais dos fundadores da Mecânica Quântica.

O Capítulo I é dedicado à questão das interpretações da Mecânica Quântica. Nele procura-se mostrar que a interpretação realista defendida por Einstein e outros tem a seu favor uma série consistente de argumentos explícitos que a colocam em vantagem sobre a interpretação ortodoxa em algumas das mais relevantes situações físicas. No caso dos fenômenos de interferência, no entanto, essas posições parecem invertidas.

No Capítulo II são analisados os resultados algébricos de von Neumann, Gleason-Belinfante, Bell e Kochen e Specker contra as Teorias de Variáveis Ocultas não-contextuais. Dá-se ênfase no exame da estrutura interna e na elucidação das pressuposições de cada um desses resultados, o que permite a avaliação de suas forças relativas. Observa-se que a consequência líquida deles é que, para sistemas físicos cujo espaço de Hilbert tem dimensão maior que dois, qualquer atribuição completa de valores tem de ser contextualista, o que implica na incorporação de elementos de um holismo semelhante ao encontrado na interpretação de Niels Bohr.

A possibilidade de comparação empírica entre teorias realistas locais e as previsões estatísticas da Mecânica Quântica surgiu com o advento da Desigualdade de Bell e seus aperfeiçoamentos subsequentes. Experimentos recentes

trouxeram fortes evidências contra aquelas teorias. No Capítulo III, os desenvolvimentos teóricos relacionados à Desigualdade de Bell são analisados, bem como alguns esquemas de atribuição completa de valores que, ao preço de artificialidade, escapam a esses resultados. É fornecida ainda uma resenha de todos os testes experimentais já realizados.

No Capítulo IV são expostos e examinados alguns importantes resultados formais obtidos em 1982 por Arthur Fine, estabelecendo algumas conexões entre determinadas premissas dos resultados algébricos e das desigualdades de Bell, bem como um engenhoso teorema mostrando que qualquer dessas desigualdades possui uma característica comum. Por fim, recebe atenção um importante trabalho de 1983 de Heywood e Redhead, que inaugurou uma nova linha de ataque ao realismo local, imune a certas críticas levantadas anteriormente contra aquela que resultou da Desigualdade de Bell. São exibidas as consequências desse trabalho para o aclaramento de importantes questões conceituais ligadas ao contextualismo e à localidade. Na última seção do capítulo é fornecida uma visão panorâmica de todo o campo de estudo das Teorias de Variáveis Ocultas depois desses resultados recentes, o que permite perceber quão fortes são as evidências para uma reformulação substancial de algumas das mais acalentadas concepções humanas acerca do mundo.

## RESUMÉ

A recent series of theoretical and experimental results has rekindled interest in the foundations of Quantum Mechanics. These results, taken as a whole, demonstrate that no complete value assignment for the observables of a quantum system can incorporate all the premisses of classical (particle) realism. An attempt is made in this dissertation to provide a critical analysis of these results, once the contours of the realist programme in Quantum Mechanics have been set out via an examination of the traditional arguments of the founders of the theory.

Chapter I is concerned with the question of the "interpretation" of Quantum Mechanics. It is argued here that the realist interpretation defended by Einstein and others is, in relation to a number of important quantum phenomena, clearly superior to the orthodox interpretation. However, in the case of interference phenomena, the situation would appear to be the opposite.

In Chapter II the algebraic results of von Neumann, Gleason-Belinfante, Bell, and Kochen and Specker against non-contextualist hidden variable theories are analysed. Emphasis is given to the examination of the internal structure of and to the elucidation of the assumptions associated with each one of these results, which allows for evaluation of their relative strengths. It is noted that the net consequence of these results is that, for systems whose Hilbert Spaces have dimension greater than two, any complete value assignment must be contextualist. This implies the incorporation of a certain kind of "wholism", which is closely related to that found in the interpretation of Niels Bohr.

The possibility of empirical tests between local realist theories and the statistical predictions of Quantum Mechanics arose with the discovery of the Bell Inequality and its subsequent improvements. Recent experiments have

furnished strong evidence against local realist theories. In Chapter II, the theoretical developments associated with the Bell Inequality are analysed, as well as some complete value assignment schemes which by way of their artificiality are capable of avoiding these negative results. Also, a review of all the experimental tests performed to date is provided.

Some important formal results obtained in 1982 by Fine which establish connections between certain assumptions associated with the algebraic results on the Bell Inequalities are examined in Chapter IV. This is followed by examination of an elegant theorem of Fine showing that all these Inequalities share an important common feature. Then, attention is given to the 1983 result of Heywood and Redhead, which inaugurated a new line of attack on local realism, one immune to the criticisms, discussed earlier, against the original line which followed from the Bell Inequalities. The consequences of this result for our understanding of the issues of contextualism and locality are spelt out. Finally, in the last section of the Chapter, a panoramic view is given of the whole terrain of hidden variables in the light of these recent results. This allows for an appreciation of the weight of evidence in favour of a substantial reformulation of some of our most entrenched notions of the world.